

①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 04 740 A 1**

②① Aktenzeichen: 197 04 740.8
②② Anmeldetag: 13. 2. 97
②③ Offenlegungstag: 20. 8. 98

⑤① Int. Cl.⁶:
G 02 B 5/32
G 03 H 1/00
G 03 H 1/04
G 09 F 9/30
B 60 K 35/00
B 60 K 37/02
B 64 D 45/04

DE 197 04 740 A 1

⑦① Anmelder:
Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,
DE

⑦② Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

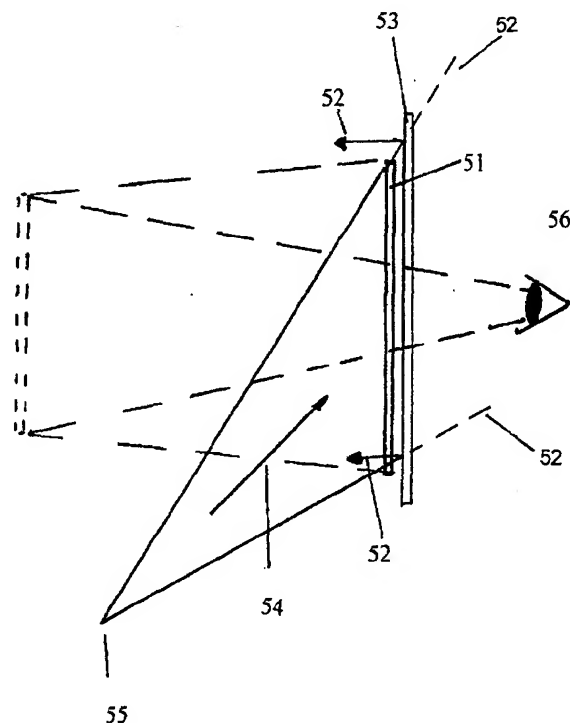
⑤⑥ Entgegenhaltungen:
WO 95 34 832
CA 20 08 214
Appl. Optics 12 (1973) 2180-2184,
Hariharan: Optical Holography, 1. Aufl.,
1984, Kp 4.10;
Marwik: Praxis der Holographie, 1990,
Kp. 24.5.2-24.5.4;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Holografischer Anzeigeschirm für Flugzeuge und Fahrzeuge**

⑤⑦ Es wird ein holografischer Bildschirm für Laserprojektion mindestens einer oder mehrerer Laserwellenlängen, die selektiv die einfallende schmalbandige Laserstrahlung in einen vorherbestimmten Raumwinkel diffus streut und gleichzeitig das breitbandige Umgebungslicht ungehindert durchläßt, vorgeschlagen, der mindestens ein holografisches Phasengitter aufweist, das an eine durchsichtige Trägerplatte optisch gekoppelt ist. Ferner werden Verfahren zu seiner Herstellung und Verwendung beschrieben.



DE 197 04 740 A 1

Die Erfindung betrifft die Herstellung und Anwendungen eines holografischen Bildschirms als Anzeigeelement zum Führen von Land- und Wasserfahrzeugen und Flugzeugen oder deren Simulation mit Hilfe vollfarbiger Laserprojektion.

Die Daten, die beim Führen eines Fahrzeuges z. B. eines Kraftwagens oder eines Flugzeuges dem Fahrer oder Piloten angezeigt werden, können grob in zwei Kategorien unterteilt werden, nämlich zum einen in Informationen über den aktuellen Betrieb und technischen Zustand wichtiger Einzelsysteme (Betriebsstoffmenge, Drücke, Temperaturen, Drehzahl, Betriebsarten usw.) und zum anderen in Informationen, die der Fortbewegung, Navigation und Zielfindung (Geschwindigkeit, Höhe, Lage, Ort, Richtung usw.) dienen.

In naher Zukunft ist damit zu rechnen, daß sowohl die Menge und Vielfalt der verfügbaren aktuellen Daten in den beiden Kategorien zunimmt. Es werden weitere aktuelle Daten über den technischen Zustand des Kraftwagens wie Reifendruck und Bremssystem oder beim Flugzeug über die Vereisung von Tragflächen, Strömungsabriß und Materialermüdung sowie verbesserte Daten über die Wegstrecke zum Ziel, Straßenzustand, Staus, Kollisionsgefahr, günstigste Route und Wetterlage zu Verfügung stehen.

Während der Entwicklung der Passagierflugzeuge der letzten 30 Jahre hat die ständige Zunahme der Daten nicht zu einer erhöhten Belastung der Piloten, sondern im Gegenteil durch die Automatisierung von vielen Flugzeugfunktionen, verbessertem Datenmanagement und verbesserter Anzeige geführt. Dadurch konnte beispielsweise der Funkoffizier und Bordingenieur eingespart werden. In den letzten zehn Jahren hat neben der zunehmenden Verwendung von Computern im Flugzeugbetrieb und in der Flugführung eine weitere Entwicklung in Form einer variablen Anzeige der Zustands- und Führungsdaten in Displays angefangen, die einen Großteil der starren Anzeigeelemente ersetzen konnten (Glasscockpits). Der Vorteil hierbei ist, daß die Anzeige nur erscheint, wenn sie gebraucht wird. Sie kann vom Piloten aufgerufen werden bzw. erscheint automatisch in kritischen Situationen.

Eine ähnliche Entwicklung ist beim Kraftfahrzeug bald zu erwarten, d. h. die klassischen festen Anzeigeelemente über Kraftstoff, Öldruck, Motortemperatur, Drehzahl, gefahrene Kilometer und Geschwindigkeit werden verschwinden und durch ein gemeinsames Display ersetzt, das entweder automatisch oder auf Abruf die aktuelle oder benötigte Information verzögerungsfrei darstellt. Eine Reihe weiterer generierter Daten sind bei Fahrzeugen in Kürze verfügbar, wie z. B. Anhalteweg, Abstand beim Parken, Verkehrsleitinformationen usw. die auf einem universellen Anzeigeelement dargestellt werden müssen.

Die technischen Anforderungen, die an eine zukünftige Anzeige im Fahrzeug gestellt werden, sind vor allem eine verbesserte Sichtbarkeit bei sehr hellem Hintergrund, verbesserte Farbdarstellung, höherer Kontrast und feinere Bildauflösung. Weiterhin wird verlangt, daß sowohl der Ort der Anzeige auf dem Bildschirm als auch seine Größe, Gestalt und Helligkeit kontinuierlich veränderbar sind.

Ein Nachteil der heute gebräuchlichen Anzeigentechnik im Armaturenbrett unter dem Gesichtsfeld des Piloten oder Fahrers nach außen ist, daß die Anzeige nur durch Nicken des Kopfes nach unten und Betrachtung der Anzeige im Nahfeld gelesen oder betrachtet werden kann. Außer dieser Unterbrechung der Beobachtung der Umgebung, die vor allem beim Fahren eines Wagens eine erhebliche Störung der Beobachtung bedeutet, muß das Auge zwischen beiden Beobachtungen neu akkommodieren und sich in einer verän-

derten Szene zurechtfinden, was häufig zu Unfällen führt.

Seit einiger Zeit werden neue Anzeigeverfahren für Kampfflugzeuge entwickelt und zum Teil eingesetzt, die den Piloten dadurch entlasten, daß die Anzeige als virtuelles Bild in sein Blickfeld bzw. Blickrichtung durch das Cockpitfenster eingeblendet wird. Ein virtuelles Bild hat den Vorteil, daß es im Unendlichen erscheint und deshalb zum Betrachten keine oder nur eine geringe Änderung der Akkommodation des Auges verlangt. Dies ist von wesentlichem Vorteil in der schnell wechselnden Szene eines niedrig fliegenden Kampfflugzeuges, wo auch schnelle Entscheidungen bei ständig veränderlichen Instrumentenanzeigen vom Piloten verlangt werden. Die virtuelle Anzeige wird entweder auf eine transparente Glasscheibe vor der Windschutzscheibe oder in eine Brille in dem Piloten aufgesetzten Helm projiziert.

Die von einem einfarbigen CRT-Schirm generierten Anzeigen werden mit einem schmalbandigen Reflektor, der nur die Wellenlänge des Anzeigeschirmes reflektiert und das breitbandige Licht aus dem Fenster oder von Anzeigen im Instrumentenbrett durchläßt, erzeugt. Die Abbildungsoptik wird gleichzeitig so ausgelegt, daß die Anzeige des Schirmes im Blickfeld des Piloten als virtuelles Bild erscheint. Anzeigeanordnungen dieser Art, die in der Fachsprache als Head-up-displays (HUDs) bezeichnet werden, sind z. B. in den folgenden Veröffentlichungen beschrieben: M.H. Freeman, Head-Up Displays-A Review. Optics Technology, Feb. 69, pp 63-70 und R.J. Withrington, "Optical Design of a Holographic Visor Helmet-Mounted Display, Computer Aided Optical Design", Proc. SPIE Vol. 14, pp 161-170.

Es sind auch Versuche bekannt, HUDs, in die Windschutzscheibe von PKWs zu integrieren: W. Windeln, M.A. Beeck, Windschutzscheibe mit Holographischem Spiegel für Head-Up Displays, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 91(1989) Heft 10, S. 2-6. In der Offenlegungsschrift DE 37 12 663 A1 über ein "Anzeigesystem zum möglichst akkommodationsfreien Ablesen von Informationen bei auf Fernsicht eingestelltem Auge" wird ein Anzeigesystem vorzugsweise für Kraftfahrzeuge beschrieben, das die anzuzeigende Information als virtuelles Bild in die Frontscheibe oder im Bereich des Armaturenbrettes darstellt.

Diese Versuche und Vorschläge, die HUD Technologie aus der Anwendung im Kampfflugzeug zu übertragen, setzen aber wie die herkömmliche Technik CRTs und LCDs als bildererzeugende Elemente voraus und sind daher den gleichen Begrenzungen hinsichtlich geringer Helligkeit, mäßiger Auflösung und schwachem Grauwert- und Farbkontrastes unterworfen. Ein gravierender Nachteil der bestehenden Technik ist, daß sie nur einfarbige grüne Bilder darstellen kann, was die Möglichkeiten der differenzierten Informationsgestaltung über Farben ausschließt. Weitere Probleme dieser Art von Anzeige sind der begrenzte Betrachtungswinkel von nur einigen zehn Grad und die unruhige Bewegung des Bildes bei schnellen Kopfbewegungen.

Dies liegt daran, daß die HUDs, wie sie heute gestaltet sind, ein optisches Element analog einem Linsensystem in Kombination mit einem farbselektiven Spiegel darstellen. Mit Hilfe der Linse, die im HUD als diffraktive Struktur eines holografischen Element realisiert ist, wird das Bild eines Monitors nach der Umlenkung über den Spiegel als ein Bild im weiten Abstand durch das Fenster gesehen. Da der Spiegel nur selektiv das grüne Licht bei der Wellenlänge des Aufnahmelasers des Hologramms, was mit der Farbe des Monitors übereinstimmt, reflektiert, geht der größte Anteil des Umgebungslichts durch das Hologramm ungehindert durch.

Da diese Funktionen von bisherigen HUDs nur in einem engen Winkelbereich erfüllt werden können, blieben sie

deshalb auf die Anwendung im Kampfflugzeug beschränkt. Im Passagierflugzeug und im Auto wird ein relativ weiter Beobachtungswinkel verlangt damit z. B. der Copilot oder der Beifahrer ebenfalls die Anzeige wahrnehmen kann. Außerdem wäre hier auch eine Anzeige über die Breite des Außenfensters von großem Vorteil.

Bei einer verbesserten Technik von HUDs, die auch in Passagierflugzeugen und Autos eine Anwendungen finden könnten, wären folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Geringes Gewicht, geringe Einbautiefe
- vibrationsfest und beschleunigungsfest für vorgesehenen mobilen Betrieb
- Ausnutzung der maximalen Darstellungsfläche
- Ablesbarkeit bis ca. 60 Grad Blickwinkel
- Maximale Flächennutzung durch ungeteilte Darstellungsfläche
- zentrale Anzeige kritischer Informationen
- variable, sequentielle oder überlagerte Darstellung vieler Informationen
- Farbfähigkeit
- mindestens 4 Millionen Bildpunkte pro Display (Auflösung ca. 0,5 Winkelminuten)
- Bildaufbaufrequenz des Vollbildes mindestens 100 Hz
- holografisches Display zur Ausnutzung dreidimensionaler Darstellung und/oder akkomodationsfreier Ablesbarkeit
- keine Reflexion von Auflicht

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine neues Hologramm anzugeben, das im Blickfeld des Piloten oder Fahrers nach außen liegt und das den oben gestellten Anforderungen eines verbesserten HUDs für neue breite Anwendungsfelder genügt.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen, die z. T. weder mit CRT- oder LCD-Displays realisiert werden können, sollen die besonderen Eigenschaften der Laser-Projektion ausgenutzt werden. Diese sind erstens die geringe Linienbreite und damit verbundene große Kohärenzlänge des Lichtes und zweitens die hohe Strahldichte, d. h. Lichtleistung pro Raumwinkel und Flächeneinheit. Die erste Eigenschaft kann zur effizienten Trennung von mehrfarbigen Laserlicht von dem Fremdlicht verwendet werden, die zweite ermöglicht eine Bildprojektion mit hoher Auflösung und starker Helligkeit. Als drittes ist die Farbqualität der Summation von drei monochromatischen Laserlinien im ausgewählten Wellenlängenbereich mit anderen Verfahren unerreichbar.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß anstatt eines abbildenden Elements als HUD, ein Bildschirm als Objekthologramm verwendet wird, der so hergestellt ist, daß er nur bei der Beleuchtung mit einem Laser-Auflicht- bzw. Rücklichtprojektor ein Bild zu dem Betrachter wirft, aber das durch das Fenster breitbandige Licht durchläßt und damit die Sicht nach außen frei läßt. Der holografische Schirm wird dahingehend optimiert, daß er selektiv das schmalbandige Laserlicht in einer oder mehreren Farben mit hohem Wirkungsgrad in einen definierten Raumwinkel beugt, aber das breitbandige Umgebungslicht weitgehend unbeeinflusst transmittiert. Als Objekthologramm bringt diese neue Technik den besonderen Vorteil, daß sowohl eine große Bildarstellungsfläche ausgeleuchtet werden kann und gleichzeitig ein breiter Betrachtungswinkel möglich wird.

Objekt dieses holografischen Bildschirms ist vorzugsweise ein angepaßter weißer Schirm, der vorzugsweise mit allen verwendeten Laser-Projektionswellenlängen in das Hologramm einbelichtet wird. Bei der Aufnahme wird dafür gesorgt, daß der Schirm mit dem Objektstrahl so ausge-

leuchtet wird, daß seine Beugungs- oder Streucharakteristik die gleiche ist, wie sie später in der Anwendung erwünscht ist. Als Referenzstrahl bei der holografischen Aufnahme dient dabei ein aufgeweitetes Strahlenbündel, das von einem entsprechenden Ort, wie der spätere Projektionsstrahl her ausgeht. Das Hologramm wird vorzugsweise als off-Praxis Hologramm aufgenommen und beleuchtet, d. h. der Projektionsstrahl fällt unter einem größeren Winkel zu der Normalen auf die Hologrammfläche, damit eine freie Sicht durch das Hologramm ohne Abschattung durch den Projektor entsteht.

Je nach Anwendungsfall wird bevorzugt, daß der Projektor vor oder hinter dem Hologramm steht. Danach richtet es sich, ob das Hologramm als Reflexions- oder Transmissionshologramm mit einer Auflicht- bzw. Rücklichtprojektion hergestellt wird. Zur Wiedergabe kann beim einen Hologramm entweder aufgeweiteter Bildprojektionsstrahl, ein punktuell oder zeilenförmig abtastender (scannender) Strahl verwendet werden.

Hierfür können alle heute bekannten Projektionsverfahren verwendet werden, z. B. das Lichtventilprinzip, in dem eine Bildmatrix mit Mikrosiegeln (Digital Mirror Device, DMD) oder Flüssigkristallen (Liquid Cristal Device, LCD) mit Laserbeleuchtung auf einen Schirm in einem raumfesten Projektionsstrahl geworfen wird. Auch die serielle Bildprojektion durch Laserscanner, wo das Bild Punkt für Punkt oder Zeile für Zeile aufgebaut wird, ist anwendbar.

Wird das Hologramm auf eine transparente Trägerplatte in optischem Kontakt aufgezogen, z. B. eine Glasplatte, erscheint der holografische Schirm unter flächenhafter Beleuchtung mit breitbandigem Umgebungslicht transparent wie die Trägerplatte, die vorzugsweise zur Unterbindung von Reflexionen entspiegelt ist.

Wird die Fläche des holografischen Schirms dagegen mit Laserstrahlen aus der richtigen Beleuchtungsrichtung, d. h. vom Ort des früheren festen Referenzstrahles flächenhaft beleuchtet oder abgetastet (gescannt), baut sich wieder das ursprüngliche Bild des Schirmes von Bildpunkt zu Bildpunkt, parallel oder seriell auf. Wird der Projektionsstrahl noch mit Bilddaten moduliert, entsteht für den Betrachter in der Aufzeichnungsschicht das Bild, als würde es auf dem ursprünglichen Schirm erscheinen, nur mit den erfindungsge-
mäßigen Verbesserungen.

Nur muß dafür gesorgt werden, daß bei der Aufnahme und Wiedergabe die gleichen oder annähernd gleichen Laserlinien verwendet werden und daß die Projektion von dem gleichen Ort wie der Referenzstrahl bei der Aufnahme des Hologramms ausgeht. Zur Sicherung einer hohen Bildqualität muß dafür gesorgt werden, daß die Ausdehnung der Bildquelle vom Schirm aus gesehen näherungsweise einer Punktquelle entspricht. Diese letzte Forderung ist von gescannten Systemen immer erfüllt. Bei einer abgebildeten Bildmatrix mit 20 mm Diagonale und 200 mm Projektionsabstand beträgt die Größe der Bildquelle 6°, was einen Einfluß auf die Güte des Bildes haben kann. Da die Matrix mit gebündelter Laserstrahlung ausgeleuchtet wird, ist eine Verkleinerung der Quelle durch Zwischenabbildung unter 1°, die einer Punktquelle dann sehr nahe kommt, leicht zu realisieren.

Um beim Reflexionshologramm die benötigte Winkel- und Wellenlängenselektivität aufzuweisen, muß der holografische Bildschirm die Eigenschaften eines Volumenhologramms besitzen. Dies wird vorzugsweise durch die Aufnahme eines Volumenhologramms in Reflexion oder Transmission in eine oder mehrere "dicke" Aufnahmeschichten (ca. 5-30 µm) erreicht. Volumengitterstrukturen entstehen bei der Aufnahme und Verarbeitung des Hologramms als Abbild des Schirms unabhängig voneinander bei den ver-

schiedenen verwendeten Wellenlängen. Unter der sogenannten Bragg-Interferenz-Bedingung der Gitterstruktur, die jedesmal nur für die eine Wellenlänge und einen Beleuchtungswinkel erfüllt ist, wird Licht zurückreflektiert bzw. durchgebeugt und es erscheint bei der Betrachtung des Hologramms ein helles Bild des Schirmes mit seiner ursprünglichen Streucharakteristik. Dies wiederholt sich für andere diskrete Wellenlängen mit deren zugeordneten Gitterstrukturen innerhalb der gleichen Schicht oder weiterer Schichten zu einem überlagerten Gesamtbild, was bei richtiger Farbabstimmung das Bild des ursprünglich weißen Schirms wiedergibt. Licht anderer Wellenlängen, sowie breitbandiges Licht wird wegen der fehlenden Übereinstimmung mit den Bragg-Bedingungen weitgehend ungeschwächt durchgelassen, wenn es nicht gerade aus der Richtung der Laserprojektion auffällt. Störlicht, das nicht in die +1-Beugungsordnung, wie z. B. Anteile der 0-ten und -1-Ordnung wird nicht zurückreflektiert sondern geht durch das Hologramm hindurch, wo es leicht ausgeblendet werden kann.

Es können sowohl "dicke" als auch "dünne" Transmissionshologramme zur Betrachtung in transmittierten Licht verwendet werden. Die Entscheidung, welche Art verwendet wird, richtet sich nach den verfügbaren Aufnahmematerialien, ihren Kosten, dem angestrebten Beugungswirkungsgrad und der Art der Wiedergabe. Mit dicken Hologrammen kann insbesondere eine hohe Winkel- und Wellenlängenselektivität bei der Wiedergabe erreicht werden.

In der hier vorgeschlagenen Aufnahme eines dünnen Hologramms in einem Schritt wird der Schirm als zweidimensionale Gitterstruktur einbeleuchtet. Es wird die bekannte Aufnahmegeometrie nach Leith und Upatnieks verwendet mit einem divergenten Referenzstrahl. Der Schirm erscheint bei der Wiedergabe mit einem Projektionsstrahl, der dem Referenzstrahl entspricht, als virtuelles Bild (in der ersten Beugungsordnung) und kann als solcher auch direkt verwendet werden. Die störenden Lichtanteile in der 0-ten Beugungsordnung und den anderen Beugungsordnungen werden minimiert und außerhalb des Hologramms absorbiert.

Wie bei anderen Hologrammen dieser Art erscheint das Bild des Schirmes hinter der Hologrammplatte am gleichen Ort wie bei der Aufnahme.

Es wird für weitere Anwendungen vorgeschlagen, das Transmissionshologramm des Schirmes in zwei Stufen herzustellen. Der erste Schritt ist dann der gleiche wie der oben beschriebene. Nur wird hier anstatt des virtuellen Bildes das reelle Bild des Schirmes als Objekt für eine zweite Aufnahme verwendet und dahingehend optimiert. Dies hat den Vorteil, daß damit die Lage des Schirmbildes bei der Wiedergabe gegenüber der Hologrammplatte frei gewählt werden kann, in der Ebene und vor und hinter dieser. Für die meisten Anwendungen werden jedoch Schirmbilder mit der Lage des Schirmes weit hinter dem Schirm erwünscht.

In den Strahlengang des reellen Bildes können auch verschiedene optische Elemente wie Linsen, gekrümmte Spiegel bzw. holografisch-optische Elemente eingebaut werden, die das Bild des Schirmes in der Kopie dann optisch verändern, z. B. vergrößern und in einen weiten Abstand versetzen.

Nach der Herstellung des Bildschirmhologramms können zusätzliche optische Abbildungselemente wie Linsen, gekrümmte Spiegel bzw. holografisch-optische Elemente in den Strahlengang zum Betrachter integriert werden, die das Bild geometrisch verändern, z. B. vergrößern oder verkleinern.

Ein weißer holografischer Schirm wird, wie vorhin erläutert, vorzugsweise durch Aufnahme eines Schirmes mit allen verwendeten Laserwellenlängen, z. B. rot, grün und blau

(RGB) in das gleiche Hologramm hergestellt. Hier ergeben sich drei verschiedene Ausführungsmöglichkeiten. Als erstes können drei Belichtungen aller Farben in eine Aufnahmeschicht durchgeführt werden. Als zweites können mehrere Schichten unterschiedlicher spektraler Sensitivität, an die verschiedenen Laserwellenlängen angepaßt aufgestapelt werden. Als drittes können die verschiedenen Aufnahmematerialien nebeneinander angeordnet sein, beispielsweise punktförmig als RGB-Tripel innerhalb jedes Bildpunktes in Dreiecksanordnung wie die Phosphore einer Fernseh-Delta-Schattenmaskenröhre oder als drei benachbarte vertikale RGB-Streifen, wie die Phosphore in der bekannten Fernseh-Trinitronröhre.

Eine Aufnahme von Hologrammen mit drei unterschiedlichen Farben in einer einzigen dünnen Schicht, wie in dem ersten Alternativverfahren vorgeschlagen, hat das Problem, daß jede einzelne Gitterstruktur auch das Licht der anderen Wellenlänge beugt. Bei einem solchen Schirm entstehen bei dreifarbigter Projektion 9 verschiedene Streukeulen in 3 unterschiedlichen Farben, von denen drei zu einer weißen Keule zusammenfallen, die dann das eigentliche Betrachtungslicht liefert. Die anderen Strahlkeulen können durch Ausblendung mit Zusatzhologrammen, wie später angegeben, unterdrückt werden.

In einem Stapelaufbau der Schichten können z. B. drei verschiedene, an die Farben angepaßten Aufnahmematerialien verwendet werden. Durch die Verwendung von drei lateral angeordneten Schichten für die verschiedenen Farben, kann zusätzlich das Farbübersprechen, wie bei der Kathodenstrahlröhre unterbunden werden.

Die Erfindung sieht weiterhin vor, daß "dicke" Transmissions-Hologramme für die Schirmaufnahmen verwendet werden, vor allem in Anwendungen bei denen eine hohe Selektivität des Hologramms in Bezug auf Wiedergabewellenlänge und Einstrahlrichtung von Vorteil ist.

In dicken Hologrammen bildet sich bei der Aufnahme ein Volumengitter in der Aufnahmeschicht von in der Regel 5-30 µm Dicke. Bei der Wiedergabe gilt dann wegen der Interferenz benachbarter gegeneinander phasenverschobenen Teilstrahlen die Bragg-Bedingung für die konstruktive Interferenz. Damit ist eine starke Beugungseffizienz für die Aufnahmewellenlängen und die Beleuchtungsrichtung der Referenzstrahles in den Schirm integriert und breitbandiges Licht geht zum größten Teil ungehindert durch.

Wie bei einem "dünnen" Hologramm können entweder mehrere Aufnahmen des Schirmes bei unterschiedlichen Farben in der gleichen Hologrammschicht, in unterschiedlichen aneinandergereihten oder nebeneinander angeordneten Schichten mit angepaßter Farbempfindlichkeit aufgenommen werden.

Durch den Einbau von optischen Zusatzelementen in den Strahlengang des Referenzstrahles oder des Objektstrahls kann das holografische Bild des Schirmes sowohl bei Reflexions- als auch Transmissionshologrammen beeinflußt werden.

Damit kann z. B. der Abstrahlwinkel des holografischen Schirmes gegenüber dem Originalschirm in Elevation und Azimuth verändert werden, die Helligkeitsverteilung über den Schirm kann anders eingestellt werden und Bildfehler der Projektionsoptik können nachträglich verbessert werden.

Als Aufnahmematerialien für die dünnen Hologramme eignen sich z. B. Silberhalogenidmaterial oder Photoresist. Für die dicken Hologramme kommen vorzugsweise Silberhalogenidmaterial, Dichromat-Gelatine oder Photopolymer-Material in Frage.

Die Herstellung solcher holografischer Bildschirme für Auf- und Rückprojektion mit Lasern ist oben beispielhaft

beschrieben worden. Sie kann jedoch auf einer Vielzahl von verschiedenen Wegen und in unterschiedlichen Schritten erfolgen, die dem Fachmann bekannt und verständlich sind. Einige dieser Schritte sind bereits in den älteren deutschen Patentanmeldungen 1 97 00 162.9 und 1 97 03 592.2 für holografische Bildschirme in Auf- und Rückprojektion mit angekoppeltem optischen Absorber beschrieben und können hier für diese neue veränderte Aufgabenstellung übernommen werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der in den Figuren teilweise schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 die Direktaufnahme eines Reflexionshologramms eines Objektschirms nach dem bekannten Verfahren von Yu. N. Denisyuk in Transmission,

Fig. 2 die Beobachtung des holografischen Abbildes des Schirmes im Reflexionshologramm,

Fig. 3 die Aufnahme eines Transmissionshologramms eines Objektschirms in Reflexion nach dem bekannten Verfahren von Leith und Upatniek,

Fig. 4 die Beobachtung des holografischen Abbildes des Schirmes im Transmissionshologramm und

Fig. 5 die Ergänzung des Transmissionshologramms mit einem Reflexionshologramm zur Unterdrückung von Störlicht.

Fig. 1 zeigt die Aufnahme eines transparenten Schirms **11** in Reflexionstechnik. Das aus dem Schirm vorwärts diffus gestreute Licht **12** des Objektstrahles **13** überlagert sich mit dem Referenzlicht **14**. Hier fällt der Referenzstrahl aus der Punktquelle **16** von der entgegengesetzten Seite auf die Hologrammplatte **15** gegenüber dem Objektlicht **12**. Die Beleuchtung des Schirms geschieht hier vorzugsweise von hinten, wobei sich z. B. Vorteile der bezüglich Lichtstärke der Anordnung ergeben und korrigierende Maßnahmen bezüglich der Streulichtverteilung im Objekt- oder Referenzstrahl leicht möglich sind.

Fig. 2 zeigt die Bildprojektion auf das Reflexionshologramm **21** und Beobachtung **22** des virtuellen Schirnbildes **23**. Der Projektionsstrahl **24** geht vom gleichen Ort **25** aus wie der Referenzstrahl in **Fig. 1**. Das virtuelle Schirnbild, erscheint an der gleichen Stelle wie der Objektschirm bei der Aufnahme in **Fig. 1**.

Fig. 3 zeigt die Aufnahme eines reflektierenden Schirms **31** in Transmissionstechnik. Das Beleuchtungslicht **32** fällt aus mehreren Richtungen auf den Schirm. Das rückgestreute Licht aus dem Schirm **33** wird im Hologramm **34** mit dem divergenten Referenzstrahl **35** aus dem Ort **36** überlagert.

Fig. 4 zeigt die Bildprojektion auf das Transmissionshologramm **41** und Beobachtung **42** des virtuellen Schirnbildes **43**. Der Projektionsstrahl **44** geht von gleichen Ort **45** aus wie der Referenzstrahl in **Fig. 3**. Das virtuelle Schirnbild, erscheint an der gleichen Stelle wie der Objektschirm bei der Aufnahme in **Fig. 3**.

Fig. 5 zeigt die Vermeidung von Störlicht aus dem holografischen Schirm. Bei dem Transmissionshologramm **51** geht ein geringer Teil des auffallenden Lichtes als 0-te Ordnung **52** ohne Umlenkung durch das Hologramm hindurch. Dieses Störlicht kann durch ein Reflexionshologramm des Schirmes **53**, das für den gleichen Projektionsstrahl **54** aus der gleichen Quelle **55** ausgelegt ist, effizient zurückgestreut werden, damit es nicht in den Raum neben dem Beobachter **56** gelangt.

Mit den hier oben beschriebenen Verfahren können Bildschirme als Reflexions- bzw. als Transmissionshologramme in einem Schritt aufgenommen werden. Bei einer Vervielfältigung der Hologramme wird der Objektschirm als Vorlage gebraucht. Wie dem Fachmann wohl bekannt ist, können von dem Objektschirm weiterhin sogenannte Masterhologramme, die reelle Bilder des Schirmes erzeugen, hergestellt werden. Der Master kann nun als Objektvorlage für weitere Aufnahmen des Bildschirms in einem zweiten Schritt verwendet werden. Die Herstellung eines Masters erleichtert die Vervielfältigung einer hohen Anzahl von Kopien der Bildschirmhologramme. Dieses zweistufige Verfahren erweitert auch die Möglichkeiten, das endgültige Bildschirmhologramm in Bezug auf Bildlage, Streucharakteristik und Helligkeitsverteilung zu beeinflussen.

Die Schirmvorlage für die holografischen Aufnahmen braucht nicht plan zu sein, sondern kann beliebige dreidimensionale Oberflächenstruktur haben. Für spezielle Projektionen können z. B. gekrümmte oder gewölbte Hologrammschirme von Vorteil sein.

Durch den Einbau von optischen Zusatzelementen im Strahlengang des Referenz- oder Objektstrahls kann das holografische Bild des Schirms beeinflusst werden, z. B. in der Helligkeitsverteilung der Wiedergabe, räumlicher Abstrahlcharakteristik oder zur gezielten Korrektur von Bildfehlern, die bei der Projektion auftreten.

An die Stelle von interferenzoptisch aufgezeichneten Masterhologrammen können auch computergenerierte, bzw. von computergenerierten Hologrammen erzeugte Hologramme treten, in die rechnerisch eine bestimmte Streufunktion niedergelegt worden ist.

Es versteht sich nach dem dem vorgesagten, daß der holografische Schirm für das HUD im Sinne der Erfindung für eine oder mehrere Laserlinien verwendet werden kann. Diese Laserlinien müssen nicht zwingend im sichtbaren Spektrum liegen, sondern können bei Verwendung von geeigneten Aufnahmematerialien auch im IW- oder IR-Bereich, zur Aufnahme von Bildern mit technischen Sensoren wie Kameras Photodetektoren oder Photodetektorarrays dienen.

Obwohl hohe Anforderungen an die spektrale Schmalbandigkeit (zeitliche Kohärenz) der Beleuchtungsquelle für die Bildschirmaufnahmen gestellt werden, können bei der Wiedergabe, sowohl Lichtquellen mit einzelnen scharfen Spektrallinien wie Laser oder Gasentladungslampen als auch gefilterte breitbandige Lampen wie Halogen- oder Glühlampen verwendet werden.

Bei der Anwendung des holografischen Bildschirms als "Head-up-Display" im Flugzeug oder Fahrzeug kann es entweder vor der Windschutzscheibe aufgestellt oder in diese integriert werden.

Der holografische Bildschirm kann auch als sogenanntes "Helm-mounted-Display" (HMD) verwendet werden, wo er in die offene Brille des Helms eingebaut ist von der Seite in Auf- oder Rückprojektion beleuchtet wird.

Patentansprüche

1. Holografischer Bildschirm für Laserprojektion mindestens einer oder mehrerer Laserwellenlängen, die selektiv die einfallende schmalbandige Laserstrahlung in einen vorherbestimmten Raumwinkel diffus streut und gleichzeitig das breitbandige Umgebungslicht ungehindert durchläßt, dadurch gekennzeichnet, daß er mindestens ein holografisches Phasengitter aufweist, das an eine durchsichtige Trägerplatte optisch gekoppelt ist.
2. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß er mindestens ein holografisches Reflexions-Volumengitter aufweist.
3. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß er mindestens ein holografisches Transmissions-Volumengitter aufweist.
4. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 1, da-

durch gekennzeichnet, daß er mindestens ein holografisches Oberflächengitter aufweist.

5. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 1 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägerplatte eine zusätzliche Vergütungsschicht (Entspiegelungsschicht) aufweist.

6. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß er drei holografische Oberflächengitter aufweist, die drei Grundfarben zugeordnet sind.

7. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß er drei holografische Volumengitter aufweist, die drei Grundfarben zugeordnet sind.

8. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 2, 3 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß er die drei holografischen Volumengitter in einer Schicht enthält.

9. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 2, 3 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß er die drei holografischen Volumengitter in mehreren Schichten enthält.

10. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 2, 3 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß er andere Kombinationen von holografischen Schichten und zugeordneten Grundfarben aufweist.

11. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 3-7, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Transmissionshologramm in Richtung zum Betrachter ein Volumenreflexionshologramm vorgestellt ist, das Störlicht aus dem Transmissionshologramm zurückreflektiert.

12. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Volumenreflexionshologramm als holografischer Spiegel, der die Störstrahlung gerichtet reflektiert, ausgelegt ist.

13. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Volumenreflexionshologramm als Reflektor, der die Störstrahlung diffus reflektiert, ausgelegt ist.

14. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 1-13, dadurch gekennzeichnet, daß Bilder durch serielles Punktabtastens (Punktscannen) eines modulierten Bildstrahles auf dem Schirm erzeugt werden.

15. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 1-13, dadurch gekennzeichnet, daß Bilder durch paralleles Zeilenabtastens (Zeilenscannen) einer modulierten Bildzeile erzeugt werden.

16. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 1-13, dadurch gekennzeichnet, daß Bilder durch flächenhafte raumfeste Projektion einer Bildmatrix eines Lichtventilmodulators auf dem Schirm erzeugt werden.

17. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 1-16, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Bildwiedergabe anstatt Laserquellen schmalbandige Leuchtdioden als Lichtquellen verwendet werden.

18. Holografischer Bildschirm nach Anspruch 1-16, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildwiedergabe eine spektral gefilterte breitbandige Lampe verwendet werden.

19. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Hologramm in einem Schritt als Leith-Upatniek Transmissionshologramm mit einem diffusen reflektierenden Schirm als Objekt und divergentem Referenzstrahl aufgenommen wird.

20. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Hologramm in einem Schritt als Denisjuk Reflexionshologramm mit einem diffusen transmittierenden Schirm als Objekt und divergentem Referenzstrahl

aufgenommen wird.

21. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 1 13, dadurch gekennzeichnet, daß ein Masterhologramm in einem zweistufigen Verfahren zur Herstellung des holografischen Bildschirms verwendet wird.

22. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt ein diffus reflektierender Schirm ist mit dem ein Transmissionsmaster hergestellt wird.

23. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt ein diffus transmittierender Schirm ist, mit dem ein Transmissions- oder Reflexionsmaster hergestellt wird.

23. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach dem Anspruch 21-23, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Aufnahme des Schirmhologramms aus dem Master die Bildebene des Schirmes in der Ebene des Hologramms liegt.

24. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach dem Anspruch 21 23, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Aufnahme des Schirmhologramms aus dem Master die Bildebene des Schirmes in der Ebene vor der Ebene des Hologramms liegt.

25. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach dem Anspruch 21-23, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Aufnahme des Schirmhologramms aus dem Master die Bildebene des Schirmes hinter der Ebene des Hologramms liegt.

26. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 19-25, dadurch gekennzeichnet, daß in mindestens einem der Aufnahmeschritte durch optische Zusatzelemente im Strahlengang Helligkeitsverteilung und Bildfehler korrigiert werden.

27. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach dem Anspruch 19-26, dadurch gekennzeichnet, daß in mindestens einem der Aufnahmeschritte optische Elemente im Referenzstrahlengang eingebaut werden, die Bildfehler des Laserscanners kompensieren.

28. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 19-26, dadurch gekennzeichnet, daß optische Elemente in Referenzstrahlengang eingebaut werden, die Bildfehler bei flächenhafter Projektion einer Bildmatrix kompensieren.

29. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 19-26, dadurch gekennzeichnet, daß durch Mehrstrahlbeleuchtung des Schirms die Gesamtstreulichtverteilung des holografischen Bildschirms eingestellt wird.

30. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 21-26, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzliche optische Abbildungselemente in den Strahlengang des reellen Bildes eines Masterhologramms eingebracht werden, um dieses in der Kopie geometrisch zu verändern.

31. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß ein computergeneriertes Hologramm zur Herstellung des holografischen Bildschirms verwendet wird.

32. Verfahren zur Herstellung eines holografischen Bildschirms nach Anspruch 1-31, dadurch gekennzeichnet, daß ein holografisch-optisches Element mit dem Schirm gekoppelt wird, das die Abbildung des Schirmes im Auge des Betrachters geometrisch verän-

dert.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

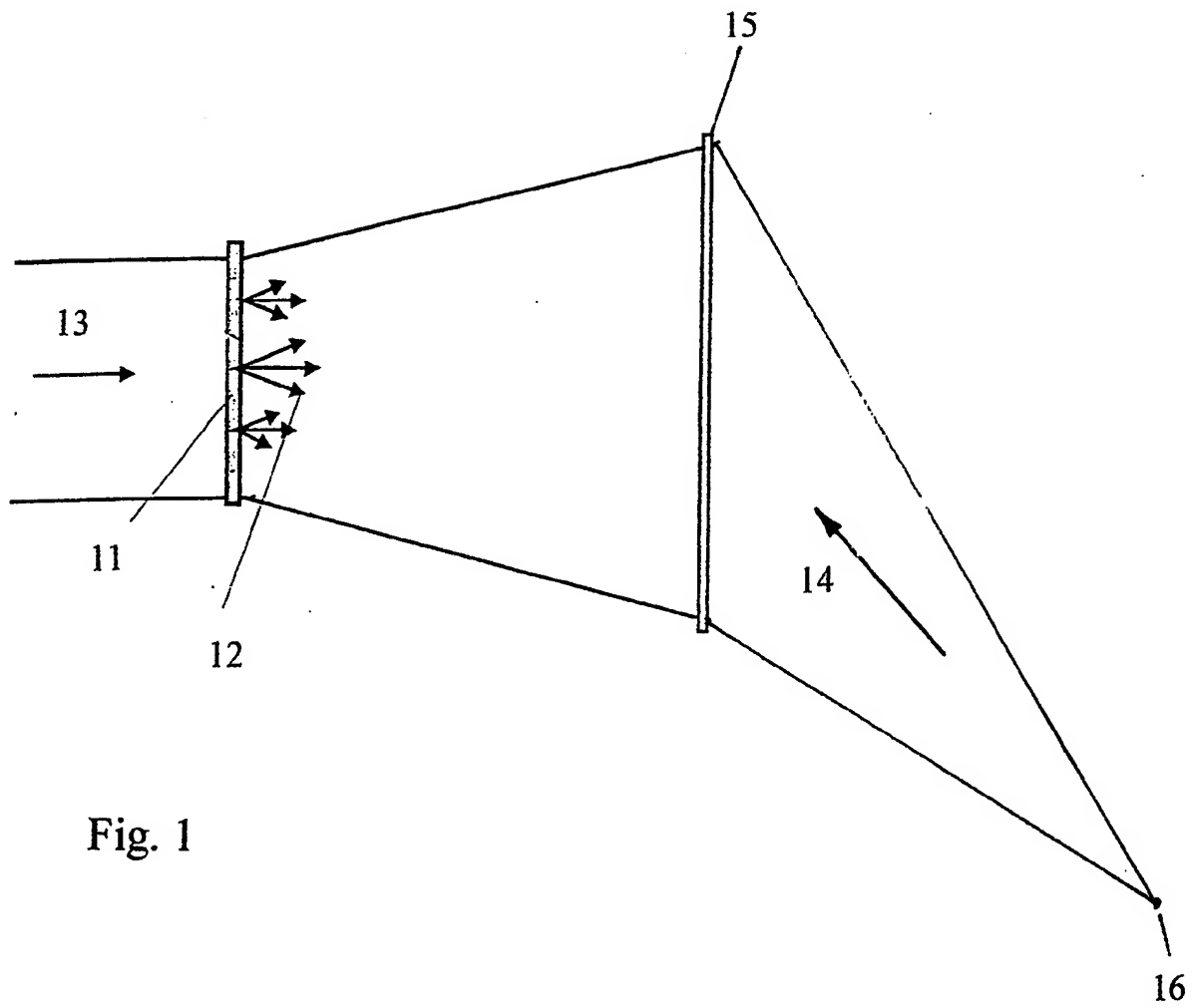


Fig. 1

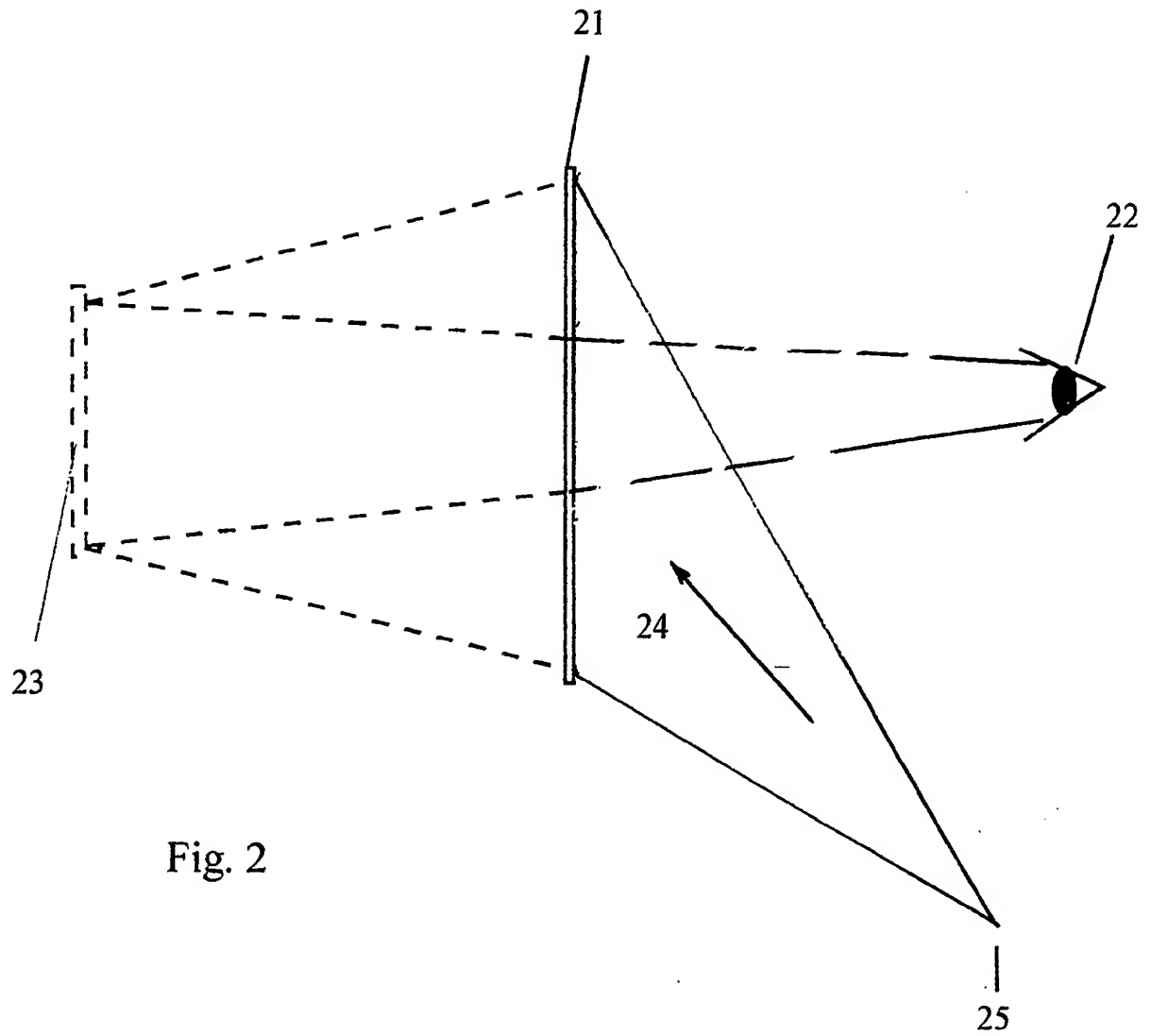


Fig. 2

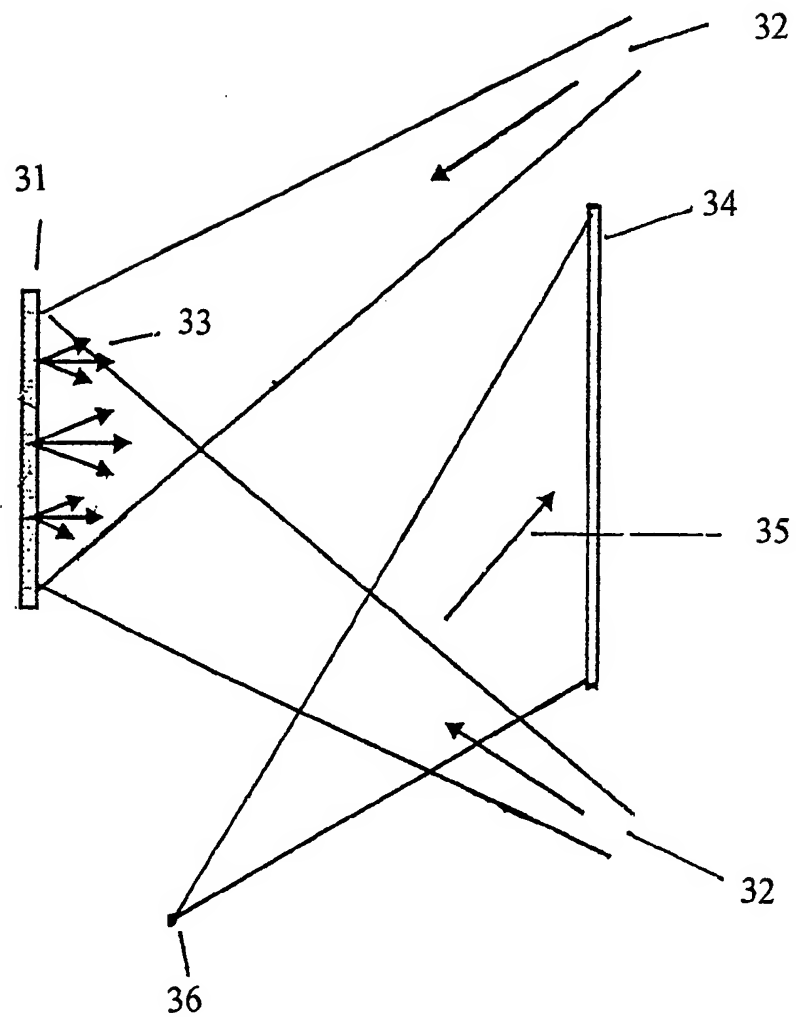


Fig. 3

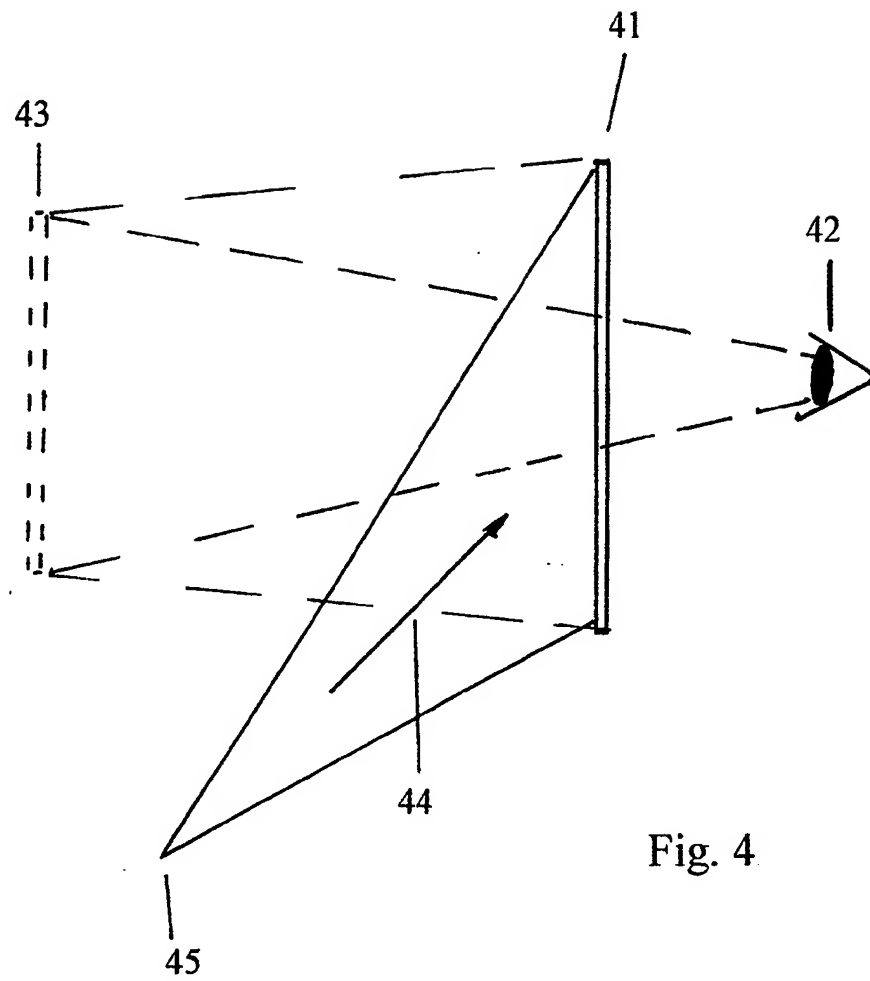


Fig. 4